



**卓越工程师**

教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材

**Food Biochemistry**

# 食品生物化学

于国萍 邵美丽 主编



科学出版社

卓越工程师教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材

# 食品生物化学

于国萍 邵美丽 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以人及其食品体系为核心,以生物化学过程为重点,力求突出“现代”之特点,并通过知识框、延伸阅读、案例介绍等方式,将生物化学的理论  
与食品科学、食品加工及相关领域的发展形成有机联系,使得深奥、抽象的  
生物化学理论更加通俗易懂。全书内容(共分三篇 14 章)主要包括水分与  
矿物质、糖类、脂类、蛋白质、核酸、酶、生物氧化、物质的中间代谢、物质代谢  
的联系与调节控制,以及现代生化技术在食品中的应用。各章附有小结及  
思考题,以帮助学生掌握要点和课后复习。

本书为“卓越工程师教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材”之  
一,适合高等院校食品科学与工程等相关专业的本科生使用,也可供研究  
生、科研人员和生产一线的科技人员使用与参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学 / 于国淮, 邵美丽主编. — 北京: 科学出版社, 2015  
卓越工程师教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材  
ISBN 978-7-03-043222-0

I. ①食… II. ①于… ②邵… III. ①食品化学-生物化学-高等学校-教  
材 IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 021002 号

责任编辑:席 慧 闫小敏 / 责任校对:张怡君  
责任印制:霍 兵 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 4 月第一次印刷 印张:22

字数:560 000

定价:49.80 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

# 《卓越工程师教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材》

## 编写、审定委员会

主 任 朱蓓薇

### 编写委员会

副主任 王 硕 孙远明

委 员 (以姓氏笔画为序)

于国萍	马 涛	王世平	王喜波	王俊平
邓泽元	石彦国	刘光明	李云飞	李汴生
李雁群	张 敏	张英华	邵美丽	林松毅
赵新淮	高金燕	曹敏杰	章建浩	彭增起

### 审定委员会

委 员 (以姓氏笔画为序)

艾志录	史贤明	刘静波	江连洲	励建荣
何国庆	陈 卫	周 鹏	郑宝东	胡华强

秘 书 席 慧

## 《食品生物化学》编写委员会

- 主 编** 于国萍 (东北农业大学)  
邵美丽 (东北农业大学)
- 副主编** 徐德昌 (哈尔滨工业大学)  
王雪飞 (东方学院)  
于纯森 (黑龙江中医药大学)
- 编 委** (按姓氏笔画排序)
- 于纯森 (黑龙江中医药大学)  
于国萍 (东北农业大学)  
王伟华 (塔里木大学)  
王雪飞 (东方学院)  
代翠红 (哈尔滨工业大学)  
连 莲 (黑龙江中医药大学)  
邵美丽 (东北农业大学)  
侯爱菊 (哈尔滨工业大学)  
贾丽艳 (山西农业大学)  
徐德昌 (哈尔滨工业大学)  
崔 杰 (哈尔滨工业大学)  
詹冬玲 (吉林农业大学)
- 主 审** 李庆章 (东北农业大学)

# 总 序

2010年6月23日,教育部在天津大学召开“卓越工程师教育培养计划”(即“卓越计划”)启动会,联合有关部门和行业协(学)会,共同实施卓越计划。以实施该计划为突破口,促进工程教育改革和创新,全面提高我国工程教育人才培养质量,努力建设具有世界先进水平、中国特色的社会主义现代高等工程教育体系,促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。


为了推进“卓越计划”的实施,科学出版社经过广泛调研,征求广大专家、教师的意见,联合多所实施“卓越计划”的相关高校,针对食品科学与工程类本科专业组织并出版“卓越工程师教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材”,该系列教材涵盖食品科学与工程、食品质量与安全、粮食工程、乳品工程、酿酒工程等相关专业,旨在大力推进教育改革,提高学生的实践能力和创新能力,建立一套具有开拓性和探索性的创新型教材体系,培养具有国际竞争力的工程技术人才。

根据教育部的学科分类,食品科学与工程类属于一级学科,与数学、物理、生物、天文、化工等基础学科属同等地位。它具有多学科交叉渗透的特点,涉及化学、物理、生物、农学、机械、环境、管理等多个学科领域。特别是20世纪50年代以来,随着计算机技术和生物技术食品工业中的广泛应用,食品专业更是如虎添翼,得以蓬勃发展。据统计,全国开设食品科学与工程类本科专业的高校近300所,已有14所高校的食品科学与工程专业入选前三批的“卓越计划”。“卓越工程师教育培养计划食品科学与工程类系列规划教材”汇集了相关高校教师、企业专家的丰富教学经验和研究成果,整合相关的优质教学资源,保证了教材的质量和水平。

2013年4月13日,科学出版社“卓越计划”第一批规划教材的编前会议在东北农业大学食品学院举办;2014年6月13日,“卓越计划”第一批规划教材的定稿会议和第二批规划教材的启动会议在大连工业大学食品学院举行。经过科学出版社与广大教师的共同努力,保障了该系列规划教材编写的顺利实施。

该系列丛书注重对学生工程能力和创新能力的培养,注重与案例紧密结合,突出实用。丛书作者都是长期在食品科学与工程领域一线工作的教学、科研人员,有着深厚的系统理论知识和相关学科教学、研究经验。本系列教材的策划与出版,为培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,为建设创新型国家,实现工业化和现代化的宏伟目标奠定了坚实的人力资源基础,具有重要的应用价值和现实意义。

中国工程院院士



2015年1月16日于大连

# 前 言

生物化学是研究生物体化学本质及其生命活动过程中化学变化规律的科学。食品生物化学是其重要的分支,是以人及其食品体系为核心,以生物化学过程为重点的一门科学。食品生物化学是食品科学与工程及相关专业的重要专业基础课,学习的主要任务为掌握各类生物大分子特别是蛋白质、酶、核酸等的结构、性质和功能;学习物质代谢的过程和能量的释放、转移、贮存、利用及物质代谢与能量流动的相互联系和调节控制;认识食品原料中生物大分子在食品加工和贮藏过程中的变化;同时了解现代生化分离检测技术在食品中的应用。为学生进一步学好食品学科的专业课和从事与之相关领域的科研与生产奠定基础。

本书由 12 位来自 7 所高等院校从事与食品生物化学相关教学和科研的骨干教师编写而成,汇集了各校的特点及各位编者的经验和智慧。本书共分为 3 篇 14 章:第一篇为食品中各组分的特征,重点介绍生物体内糖类、脂类、蛋白质、核酸和酶的组成、结构及功能;第二篇为生物大分子在体内的代谢及调节,主要介绍糖类、脂类、蛋白质和核酸等生物大分子的合成与分解代谢、能量代谢、遗传信息传递及各物质代谢的相互关系与调节控制;第三篇为现代生化技术应用案例,主要介绍与食品成分分离和检测相关的现代生物化学技术,概括介绍其基本原理和在食品科学上的应用案例。

希望通过该课程的学习,能使学生掌握食品原料中生物大分子的化学组成、结构、性质、生物学功能及在人体内的代谢规律,从分子水平认识和理解食品成分对人类生命活动的重要意义及对人类健康的重要性。

编写的具体分工为:于国萍编写第 1 章及第 14 章,邵美丽编写第 2 章及第 5 章,徐德昌编写第 12 章,王雪飞编写第 7 章,于纯森编写第 3 章,王伟华编写第 9 章,代翠红编写第 10 章,连连编写第 4 章,侯爱菊编写第 11 章,贾丽艳编写第 13 章,崔杰编写第 6 章,詹冬玲编写第 8 章。此外,齐薇薇、刘慕君、蔡兴航、张丹等参与了部分内容的编写与校对工作,在此表示感谢。本书完稿之时,李庆章教授在百忙中对书稿进行了认真的审阅,在此深表谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月

# 目 录

总序

前言

## 第1章 绪论

- 第一节 生物化学及食品生物化学 … 1
  - 一、生物化学 …………… 1

- 二、食品生物化学 …………… 2
- 第二节 生物化学发展史 …………… 2
- 第三节 生物化学与食品科学 …………… 3

## 第一篇 食品中各组分的特征

## 第2章 食品中的水与矿物质

- 第一节 食品中水的存在方式及其对食品品质的影响 …………… 5
  - 一、水在食品中的存在方式 …………… 5
  - 二、水与食品加工贮藏 …………… 9
- 第二节 水分活度及其对食品品质的影响 …………… 9
  - 一、水分活度 …………… 9
  - 二、水分活度与食品稳定性 …………… 12
- 第三节 食品中矿物质 …………… 13
  - 一、矿物质分类及功能 …………… 13
  - 二、矿物质的生物可利用性 …………… 14
  - 三、矿物质在食品加工和贮藏过程中的变化 …………… 15
- 本章小结 …………… 18

## 第3章 糖类化学

- 第一节 单糖 …………… 19
  - 一、单糖的结构 …………… 19
  - 二、单糖的理化性质 …………… 22
  - 三、重要的单糖及其衍生物 …………… 26
- 第二节 寡糖 …………… 27
  - 一、寡糖的结构 …………… 28
  - 二、寡糖的性质 …………… 30
  - 三、功能性低聚糖 …………… 31
- 第三节 多糖 …………… 33

- 一、同聚多糖 …………… 33
- 二、杂聚多糖 …………… 37
- 三、复合糖类 …………… 39
- 四、功能性多糖 …………… 41
- 第四节 糖类在食品加工和贮藏过程中的变化 …………… 41
  - 一、美拉德反应 …………… 41
  - 二、焦糖化反应 …………… 45
  - 三、糖类的脱水和热降解 …………… 45
- 本章小结 …………… 46

## 第4章 脂类化学

- 第一节 脂类 …………… 49
  - 一、简单脂 …………… 49
  - 二、复合脂 …………… 51
  - 三、功能性脂类 …………… 52
- 第二节 生物膜 …………… 55
  - 一、生物膜的组成与结构 …………… 55
  - 二、生物膜的功能 …………… 57
- 第三节 油脂在食品加工和贮藏过程中的变化 …………… 58
  - 一、油脂在食品加工过程中的变化 …… 58
  - 二、油脂在食品贮藏过程中的变化 …… 62
- 本章小结 …………… 63

## 第5章 蛋白质化学

- 第一节 蛋白质组成与分类 …………… 65



一、蛋白质元素组成 .....	65	一、核酸的分离与含量测定 .....	122
二、蛋白质分子组成 .....	65	二、核酸电泳 .....	122
三、蛋白质分类 .....	65	三、核酸分子杂交 .....	123
<b>第二节 氨基酸和肽</b> .....	67	四、聚合酶链反应 .....	124
一、常见氨基酸 .....	67	五、DNA 测序 .....	125
二、不常见氨基酸和非蛋白质氨基酸 .....	71	本章小结 .....	126
三、氨基酸的性质 .....	71	<b>第 7 章 酶与维生素</b>	
四、肽 .....	79	<b>第一节 酶的组成与分类</b> .....	128
<b>第三节 蛋白质的分子结构</b> .....	81	一、酶的化学本质 .....	128
一、蛋白质共价结构 .....	82	二、酶的催化特点 .....	129
二、蛋白质的空间结构 .....	84	三、酶的组成 .....	132
三、蛋白质结构与功能的关系 .....	90	四、酶的分类 .....	134
<b>第四节 蛋白质的性质</b> .....	93	五、酶的命名 .....	135
一、蛋白质分子的大小 .....	93	<b>第二节 酶的催化作用机制</b> .....	137
二、两性解离和等电点 .....	93	一、酶的分子结构与催化活性 .....	137
三、胶体性质 .....	94	二、酶加速反应的本质——降低活 化能 .....	140
四、沉淀作用 .....	95	三、中间产物学说 .....	141
五、变性作用 .....	96	四、酶作用专一性的机制 .....	141
六、颜色反应 .....	97	五、酶作用高效性的机制 .....	143
<b>第五节 蛋白质分离纯化</b> .....	98	<b>第三节 酶促反应动力学</b> .....	146
一、蛋白质分离纯化的一般原则 .....	98	一、酶促反应速度与活力单位 .....	146
二、柱层析法 .....	98	二、底物浓度对酶促反应速度的 影响 .....	147
三、电泳法 .....	101	三、酶浓度对酶促反应速度的影响 .....	150
四、离心法 .....	102	四、pH 对酶促反应速度的影响 .....	150
<b>第六节 蛋白质在食品加工和 贮藏过程中的变化</b> .....	103	五、温度对酶促反应速度的影响 .....	152
一、物理因素引起的功能性性质变化 .....	103	六、激活剂对酶促反应速度的影响 .....	152
二、化学因素引起的功能性性质变化 .....	104	七、抑制剂对酶促反应速度的影响 .....	153
本章小结 .....	105	<b>第四节 维生素与酶的辅助因子</b> .....	155
<b>第 6 章 核酸化学</b>		一、维生素 B <sub>1</sub> 与焦磷酸硫胺素 .....	156
<b>第一节 核酸的结构</b> .....	107	二、维生素 B <sub>2</sub> 与 FMN、FAD .....	157
一、核酸的化学组成 .....	107	三、维生素 B <sub>3</sub> 与辅酶 A .....	158
二、核酸的一级结构 .....	111	四、维生素 B <sub>5</sub> 与 NAD <sup>+</sup> 、NADP <sup>+</sup> .....	159
三、核酸的空间结构 .....	115	五、维生素 B <sub>6</sub> 与磷酸吡哆素 .....	160
<b>第二节 核酸的理化性质</b> .....	119	六、维生素 B <sub>7</sub> .....	160
一、核酸的溶解度 .....	119	七、维生素 B <sub>11</sub> 与四氢叶酸 .....	161
二、核酸的解离 .....	119	八、维生素 B <sub>12</sub> 与辅酶 B <sub>12</sub> .....	162
三、核酸的紫外吸收 .....	120	九、硫辛酸 .....	163
四、核酸的变性、复性 .....	120	十、维生素 C .....	164
<b>第三节 核酸化学研究的重要 技术</b> .....	122		

第五节 酶在食品工业中的应用 … 165	四、酶在酒类酿造中的应用 …… 168
一、酶在淀粉加工中的应用 …… 165	五、酶在肉、蛋、鱼类加工中的应用 …… 169
二、酶在乳品加工中的应用 …… 166	六、酶在焙烤食品加工中的应用 …… 170
三、酶在果蔬加工中的应用 …… 168	本章小结 …… 171

## 第二篇 生物大分子在体内的代谢及调节

### 第 8 章 生物氧化

第一节 概述 …… 174
一、生物氧化的概念 …… 174
二、生物氧化的方式 …… 174
三、生物氧化的特点 …… 174
第二节 呼吸链 …… 175
一、呼吸链的组成 …… 175
二、线粒体内两条重要的呼吸链 …… 178
三、线粒体外氧化 …… 180
第三节 生物氧化中能量的生成及利用 …… 182
一、高能键及高能化合物 …… 182
二、ATP 的生成 …… 184
三、ATP 的贮存和利用 …… 187
本章小结 …… 189

### 第 9 章 糖类代谢

第一节 糖类的消化与吸收 …… 190
一、糖类的消化 …… 190
二、糖类的吸收 …… 191
第二节 糖类的分解代谢 …… 192
一、糖类的无氧分解 …… 192
二、糖类的有氧分解 …… 200
三、磷酸戊糖途径 …… 208
第三节 糖类的合成代谢 …… 212
一、糖异生 …… 212
二、糖原的合成 …… 217
三、其他糖类的合成 …… 218
第四节 糖类代谢各途径间的联系 …… 220
本章小结 …… 221

### 第 10 章 脂类代谢

第一节 脂类的消化、吸收及转运 …… 223
------------------------

一、脂类的消化 …… 223
二、脂类的吸收 …… 224
三、脂类的转运 …… 224
第二节 脂肪的分解代谢 …… 226
一、脂肪的水解 …… 226
二、甘油的分解代谢 …… 226
三、脂肪酸的分解代谢 …… 226
第三节 脂肪的合成代谢 …… 234
一、磷酸甘油的生物合成 …… 235
二、脂肪酸的生物合成 …… 235
三、脂肪的生物合成 …… 238
第四节 类脂的代谢 …… 239
一、甘油磷脂的代谢 …… 239
二、胆固醇的代谢 …… 239
第五节 脂代谢的调节 …… 241
一、激素对脂类代谢的调节 …… 241
二、脂肪酸代谢的调节控制 …… 241
三、胆固醇代谢的调节控制 …… 242
本章小结 …… 242

### 第 11 章 氨基酸和核苷酸代谢

第一节 蛋白质的消化吸收 …… 244
一、蛋白质的消化 …… 244
二、蛋白质的吸收 …… 245
第二节 氨基酸的代谢 …… 245
一、氨基酸脱氨基作用 …… 245
二、氨基酸的脱羧基作用 …… 247
三、氨的代谢 …… 248
四、 $\alpha$ -酮酸的代谢 …… 251
第三节 个别氨基酸的代谢 …… 251
一、一碳单位 …… 252
二、甘氨酸及丝氨酸的代谢 …… 252
三、芳香族氨基酸的代谢 …… 252
四、含硫氨基酸的代谢 …… 253

第四节 核苷酸的分解代谢 ..... 257

一、嘌呤核苷酸的分解代谢 ..... 257

二、嘧啶核苷酸的分解代谢 ..... 257

第五节 核苷酸的合成代谢 ..... 258

一、嘌呤核苷酸的合成代谢 ..... 259

二、嘧啶核苷酸的合成代谢 ..... 261

三、脱氧核糖核苷酸的合成代谢 ..... 262

本章小结 ..... 265

**第 12 章 核酸和蛋白质的生物合成**

第一节 中心法则 ..... 266

第二节 DNA 的生物合成 ..... 268

一、DNA 的半保留复制理论 ..... 268

二、参与 DNA 复制的酶 ..... 268

三、DNA 复制的过程 ..... 271

四、DNA 的损伤与修复 ..... 273

五、依赖 RNA 的 DNA 合成 ..... 274

第三节 RNA 的生物合成 ..... 275

一、RNA 聚合酶 ..... 276

二、转录过程 ..... 277

三、转录后加工 ..... 278

四、RNA 的复制 ..... 281

第四节 蛋白质的生物合成 ..... 282

一、参与蛋白质生物合成的物质 ..... 282

二、蛋白质生物合成过程 ..... 291

本章小结 ..... 302

**第 13 章 物质代谢的联系与调节控制**

第一节 物质代谢的关系 ..... 304

一、糖类代谢与脂类代谢的关系 ..... 304

二、糖类代谢与蛋白质代谢的关系 ..... 305

三、蛋白质代谢和脂类代谢的关系 ..... 305

四、核酸与其他物质代谢的关系 ..... 305

第二节 物质代谢的调节与控制 ..... 306

一、酶的区域化定位 ..... 306

二、酶活性的调节 ..... 307

三、酶合成的调节 ..... 310

四、激素调节 ..... 317

五、神经系统调节 ..... 318

本章小结 ..... 318

**第三篇 现代生化技术应用案例**

**第 14 章 现代生化技术在食品中的应用案例**

第一节 现代生化分离技术在食品中的应用 ..... 320

一、膜分离技术在食品中的应用 ..... 320

二、萃取技术在食品中的应用 ..... 323

三、分子蒸馏技术在食品中的应用 ..... 325

第二节 现代生化分析技术在食品中的应用 ..... 327

一、色谱分析技术在食品中的应用 ..... 327

二、免疫分析技术在食品中的应用 ..... 329

三、生物芯片技术在食品中的应用 ..... 331

第三节 基因工程技术在食品中的应用 ..... 334

一、重组 DNA 技术在食品中的应用 ..... 334

二、PCR 技术在食品中的应用 ..... 336

本章小结 ..... 339

主要参考文献 ..... 340

# 第 1 章

## 绪 论

食品生物化学是研究食品成分的组成、结构、性质、形成和在人体内的代谢,以及在贮藏加工过程中化学变化规律的科学。它是运用生物化学的原理阐述食品物料的化学组成、结构、性质和加工过程中的变化,以及其在人体内的代谢过程。食品生物化学不同于普通的生物化学和食品化学,而是将二者的基本原理有机地结合起来并应用于食品科学研究的一门交叉科学。

### 第一节 生物化学及食品生物化学

#### 一、生物化学

生命是物质的一种高级运动形式,生物体内各种物质的化学结构和化学反应过程均是生命活动的体现。生物化学(biochemistry)就是以物理、化学及生物学的现代技术研究生物体的物质组成和结构,物质在生物体内发生的化学变化,以及这些物质的结构和变化与生物生理机能之间的关系,从而在分子水平上深入揭示生命现象本质的一门科学,即生命的化学。

##### (一) 生命的物质基础

生物化学的研究揭示了生物体是由多种有机和无机物质组成的,它们都是生命活动不可或缺的成分。其中两大类重要物质是蛋白质和核酸,它们是生命最基本的物质。

生物体内存在种类繁多的蛋白质,它们执行着各种生理功能。例如,酶具有催化功能,催化各种代谢反应;激素(绝大多数都是蛋白质)起着代谢调节的作用;血红蛋白运输氧;肌肉蛋白进行收缩和舒张;免疫蛋白执行防御功能等。这些功能的综合表现就是有序的生命活动,因此认为生物的生命活动是通过蛋白质来实现或体现的。

生命现象多种多样,生物界更是丰富多彩,体现生命现象的蛋白质数目必然极其繁多,但是构成蛋白质的氨基酸却只有 20 多种。人们不禁要问,这 20 多种氨基酸是如何构成如此丰富多彩的蛋白质的呢? 一个简单的数学排列组合就可以回答这个问题,生物体内要合成由 100 个氨基酸组成的蛋白质,那么 20 种氨基酸以一定顺序排列就可提供  $20^{100}$  个蛋白质。在生物进化过程中,蛋白质的种类和数目是无限的,从而展示了生物界的千变万化。不同的生物,各自有其特定的生命活动特征,并且这种特征又是世代相传的。

生物是怎样控制蛋白质的合成并保持其生命特征呢? 这就要靠生命活动的另一种基本物质——核酸。核酸是一种生物大分子,它有两个基本特征和功能:一是核酸能自我复制,因而能够使生命特征世代相传;二是核酸能指导、参与合成生物所特有的蛋白质,并通过蛋白质的生理功能体现每个生物的生命特征。因此,核酸是生物遗传的物质基础。

生物体的组成除包含蛋白质和核酸两大类基本物质外,还有糖类和脂类等复杂的生物分子,以及具有生物活性的小分子化合物,如维生素、激素、氨基酸及其衍生物、肽、核苷酸、无机盐等。生物体就是由这些物质成分按严格的规律和方式组织而成的。

## (二) 物质代谢

生物体内有许多化学反应,并按一定规律持续不断地进行着。恩格斯对新陈代谢做过精辟的阐述,他指出:“生命,即通过摄食和排泄来实现的新陈代谢,是一种自我完成的过程,这种过程是为它的体现者——蛋白质所固有的,生来就具备的。没有这种过程,蛋白质就不能存在。”恩格斯在这里一方面指出了生命的物质基础是蛋白质,另一方面指明了生命的特征就是不断地进行新陈代谢,这些论断都为现代科学所证实。

新陈代谢(metabolism)是生物体内全部有序化学变化的总称。广义上的概念是生物体与外界环境之间的物质和能量交换及生物体内物质和能量的转变过程;狭义的概念是指细胞内所发生的酶促反应过程,称为中间代谢。新陈代谢包括同化和异化两个基本过程。生物体在其生命活动中,不断地从外界摄取氧、水、蛋白质、糖类、脂类、无机盐和其他营养物质,通过一系列化学反应,将这些物质转化为自身的组成成分,这就是同化作用(assimilation)。与此同时,生物体不断地将本身已有的陈旧组成成分分解转化为其他物质排出体外,这就是异化作用(dissimilation)。生物体在不断地新陈代谢过程中,演绎着生长、发育、繁殖、分泌和运动等生理过程,新陈代谢一旦停止,生命就会终止。

## 二、食品生物化学

人类为了维持生命,必须从外界取得物质和能量。人经口摄入体内的含有营养素(如蛋白质、糖类、脂类、矿物质、水等)的物料统称为食物或食料。绝大多数的人类食物都是经过加工以后才食用的,经过加工以后的食物成为食品。食品科学是一门以生物学、化学、工程学等为主要基础的综合科学。食品生物化学是食品科学的一个重要分支,是应用化学之一,它所研究的主要内容包括以下几个方面。

(1) 食品的化学组成、主要结构、性质、生理功能及人体对它们的需要。食品的化学组成是指食品中含有的能用化学方法进行分析的元素或物质,主要包括无机成分如水、矿物质,有机成分如糖类、蛋白质、核酸、脂类、维生素等。

(2) 以代谢途径为中心,研究食品在人体内的变化规律及伴随其发生的能量变化。

(3) 食品在加工、储运过程中的变化及这些变化对食品感官质量和营养质量的影响。

## 第二节 生物化学发展史

生物化学是一门既古老又年轻的科学,因为它既有悠久的发展历史,近年又有许多重大的进展和突破。

生物化学的研究始于18世纪晚期,但作为一门独立的学科是在20世纪初期。18世纪中叶至20世纪初是生物化学的初期阶段,主要研究生物体的化学组成、性质及含量,这个阶段可称为“静态生物化学”时代。1770~1786年瑞典 Scheele 分离出甘油、柠檬酸、苹果酸、乳酸、尿酸等,被认为奠定了生物化学的基础。期间的重要贡献还有对脂类、糖类及氨基酸的性质进行了较为系统的研究;发现了核酸;化学合成了简单的多肽;酵母发酵过程中“可溶性催化剂”的发现奠定了酶学的基础等。尤其是1828年, Wöhler 在实验室里将氰酸铵转变成了尿素。氰酸铵是一种普通的无机化合物,而尿素则是哺乳动物尿中的一种有机物。人工合成尿素的成功,彻底改变了有机物只能在生物体内合成的错误观点,为生物化学的发展开辟了广阔的道路。

从20世纪初期开始,伴随着分析鉴定技术的进步,生物化学进入了蓬勃发展阶段。例如,在营养学方面,人们发现了人类必需氨基酸、必需脂肪酸及多种维生素;在酶学方面,美国化学家 Sumner 于1926年首次得到脲酶结晶,其后另一位美国化学家 Northrop 相继制备出胃蛋白酶等结晶,从而证明了酶的化学本质是蛋白质;在物质代谢方面,得益于化学分析及同位素示踪技术的发展与应用,生物体内主要物质的代谢途径已基本确定,德国生物化学家 Embden 和 Meyerhof 阐明了糖酵解反应途径;英国生物化学家 H. A. 克雷布斯(Krebs)证明了尿素循环和三羧酸循环;美国生物化学家 Lipmann 发现了 ATP 在能量传递循环中的中心作用。这个时期的生物化学是以研究物质代谢变化为主体,称为“动态生物化学”阶段。

自20世纪50年代以来,由于电镜、超速离心、多种色谱方法、电泳和X射线晶体衍射等现代技术和设备的发明和发展,加上许多优秀的物理学家、化学家、微生物学家和遗传学家参加到生物化学的研究领域中,生物化学进入了突飞猛进的大发展新时期。在动态生物化学研究的基础上,结合生理机能,并注意环境对机体代谢的影响,使生物化学进入了“机能生物化学”时期,是真正意义上的现代生命化学。具体体现在对蛋白质、酶和核酸等生物大分子的研究,从分离提纯和一般性质的测定,发展到确定其化学组成、序列、空间结构及其与生物学功能的联系,进而发展到人工合成、人工模拟,并创立了基因工程。这个时期具有代表性的重要成果包括:1953年, Watson 和 Crick 提出 DNA 双螺旋结构模型,真正揭开了分子生物学研究的序幕,被认为是20世纪自然科学中的重大突破之一,大大促进了核酸分子生物学的突飞猛进;1958年 Crick 提出了“中心法则”,为分子生物学奠定了基础;Jacob 和 Monod 于1961年提出了操纵子学说;1965年,我国生化工作者首先用人工方法合成了有生物活性的胰岛素;1970年以后, Arber、Dathans 和 Smith 在限制性内切核酸酶研究方面作出贡献, Temin 和 Baltimore 发现了逆转录酶;Berg 等成功地进行了 DNA 体外重组;1978年,胰岛素基因在大肠杆菌中获得表达,显示出重组 DNA 技术的应用远景;1979年,我国又合成了酵母丙氨酸-tRNA,开辟了人工合成生物大分子的途径;1981年, Cech 等研究原生动物的四膜虫 rRNA 的加工时,发现 RNA 分子有高度催化活性,能催化 RNA 的剪接,这一发现为生物催化剂开拓了新的领域,打破了只有蛋白质组成的酶才有催化作用的传统观点。据不完全统计,这一时期因在生物化学及相关领域的贡献而获得诺贝尔奖的科学家,占生理学或医学奖的一半和化学奖的1/3以上。这些事实从一个侧面充分反映出生物化学在现代科学尤其是生命科学发展中的领先地位。

21世纪,生物化学将有更飞跃的发展。2003年4月14日,中、美、日、德、法、英6国科学家宣布人类基因组序列图谱绘制成功,且已完成的序列图谱覆盖了人类基因组所含基因区域的99%,精确率达99%。同时精确测定的生物大分子的三维结构已超过1万种,使人们已经有可能在生命物质的精确三维结构及其运动的基础上,了解生命活动的规律和机制。这使得人们迎来了生物学的崭新时代,即“后基因组时代”。

### 第三节 生物化学与食品科学

生物化学是由化学与生物学相互渗透、相互影响而形成的一门科学,它与化学和生物学的许多分支科学均有密切关系。生物化学是食品科学的重要组成部分,也是食品科学发展的重要理论依据和技术基础,它对开发食品资源、研究食品工艺、完善食品质量管理和贮藏技术具有重要作用。现代食品科学是以现代科学、技术与工程为基础,以食品生产、加工、包装、贮藏、流通、消费、环保等为主要研究内容,以食品卫生、营养、感官品质等食品质量及其变化、维护、检验、评价等为研究中心,并与现代管理科学、人文科学、市场营销等有密切联系的一门跨学科

的综合性科学。

在食品资源开发方面,生物工程的发展为食用农产品的品质改造、新食品的开发及食品添加剂和食用酶的开发拓宽了道路。在食品生产方面,食品工业、发酵工业等都需要广泛地应用生物化学的理论及技术,尤其是在发酵工业中,人们可以根据微生物合成某种产物的代谢规律,通过控制反应条件,或者利用基因工程来改造微生物,大量生产所需要的生物产品。目前,利用发酵法已经成功地实现了维生素 C、多种氨基酸的工业化生产;利用淀粉酶和葡萄糖异构酶等酶制剂生产出高果糖糖浆等一系列产品。

在食品分析检测方面,常用的生化分离检测技术有光谱分析、层析、电泳、免疫学、膜分离技术等,这些技术在食品中得到了广泛应用,是现代食品加工检测的主要技术支撑。随着生物化学的发展,以及其不断影响食品科学的发展,使得食品的概念从农业食品、工业食品发展到转基因食品,这些食品满足人类的营养需要,适应不同人群的生理特点,为提高人们的生活质量发挥着不同的作用。

21 世纪的食品生物化学,其任务除研究食品成分的结构、性质、营养价值,食品在贮藏加工中的化学变化及其在消化吸收后参与人体代谢的规律外,还应研究基因的作用及遗传信息对食品原料采摘前或屠宰前品质形成的规律、食品质量和营养价值的影响。

## 知识框

### 三羧酸循环的创立者——H. A. 克雷布斯博士的故事

H. A. 克雷布斯(Krebs), 英籍生物化学家, 1900 年 8 月 25 日生于德国希尔德斯海姆, 1981 年 10 月 22 日卒于英国牛津。H. A. 克雷布斯是伟大的, 因为他在 32 岁时发现了生成尿素的鸟氨酸循环, 37 岁时又发现了重要的三羧酸循环。他是如何发现三羧酸循环的呢?

H. A. 克雷布斯的成就是因为他继承了前人工作的结晶。早在 1910 年就有科学家发现乳酸、琥珀酸、苹果酸、顺乌头酸、柠檬酸等都能够比较迅速地被氧化, 进而在 1937 年有科学家发现由柠檬酸氧化可生成  $\alpha$ -酮戊二酸, 异柠檬酸、顺乌头酸是中间产物。在此基础上, H. A. 克雷布斯发现柠檬酸可经过顺乌头酸、异柠檬酸、 $\alpha$ -酮戊二酸而生成琥珀酸。因已知琥珀酸可生成草酰乙酸, 这样就弄清楚了从柠檬酸到草酰乙酸的过程。之后, H. A. 克雷布斯又发现了一个极关键的反应, 就是在肌肉中如果加入草酰乙酸便有柠檬酸产生, 这一发现使上述 8 个有机酸的代谢呈一个环状的关系。因为当时已知在无氧条件下葡萄糖可生成丙酮酸, 所以 H. A. 克雷布斯当时认为, 丙酮酸在体内可与少量存在的草酰乙酸缩合成柠檬酸, 之后柠檬酸生成  $\text{CO}_2$ , 并在不断放出氢的同时经过一系列变化生成草酰乙酸。由此便可完全解释体内有机化合物的氧化机制。H. A. 克雷布斯又证明了体内糖类、脂类及蛋白质等经氧化分解, 在生成  $\text{CO}_2$  及水的同时并释放出能量。至此, 一个完整的三羧酸循环途径诞生, 而至今尚无人能推翻和改变这一代谢过程。在人们感叹之余, 并由衷地被他的洞察力所折服。由于这一业绩, 他在 1953 年获诺贝尔生理学或医学奖。

(于国萍)

# 第一篇 食品中各组分的特征

## 第 2 章

### 食品中的水与矿物质

人体所需的六大营养素包括糖类、脂类、蛋白质、维生素、水和无机盐(矿物质),其中水属于宏量营养素,矿物质属于微量营养素,二者是维持人类正常生命活动所必需的基本物质。不仅如此,水和矿物质也是食品的重要组成成分。

食品中水的含量、分布及存在形式不仅影响食品的结构、外观、质地、风味、色泽及流动性等特征,同时还对食品的加工、贮藏也有重要影响。因此,掌握食品中水的理化性质、分布状态及存在形式是研究食品加工和食品贮藏技术的基础和前提。

食品中的矿物质虽然含量较少,但具有重要的营养和生理功能。它以多种不同形式存在于食品中,对食品的质地、色泽、贮藏性等可发挥重要的影响。食品中矿物质的基本性质在加工贮藏过程中会发生变化,这种变化会进一步影响食品品质及其在生物体内的利用程度和生理功能。

#### 第一节 食品中水的存在方式及其对食品品质的影响

##### 一、水在食品中的存在方式

###### (一) 水的作用

水是构成生物体的主要成分。一般生物体内的水分含量为70%~80%。在人体内,虽然水无直接的营养价值,但却是维持生命活动、调节机体代谢的重要物质。水在生物体内的作用如下。

(1) 水作为生物化学反应的介质和反应物,促使人体内生物化学反应顺利进行。

(2) 水是一种溶剂,可作为体内营养素运输、吸收及代谢物转运的载体,促进营养素的消化、吸收、代谢和排泄。

(3) 水能调节体温恒定。因为水的热容量大,即使人体内热量增多或减少,也不致引起体温出现太大的波动。同时水的蒸发潜热大,人体可通过蒸发少量汗水而散发大量热能。

(4) 水是天然的润滑剂,可减少关节和体内脏器之间的摩擦,使器官运动灵活的同时减少机体损伤。

(5) 水是优良的增塑剂,是生物大分子聚合物构象的稳定剂,是包括酶催化剂在内的大分



子动力学行为的促进剂。

水也是大多数食品的主要组成成分。不同食品的水含量不同(表 2-1)。目前,在许多法定的食品质量标准中,水是一个主要的质量指标。

表 2-1 各种食品中水含量

	食品	水含量/%
肉类	猪肉	53~60
	牛肉	50~70
	鸡肉	74
	鱼肉	65~81
蔬菜	甜菜、胡萝卜、马铃薯	80~90
	番茄、大白菜、芦笋、红辣椒	90~95
乳制品	液态奶	87
	冰淇淋	65
	奶酪	40~75
	奶粉	4
谷物	面粉	10~13
	全粒谷物	10~12
水果	苹果、桃、橘子、李子、无花果	85~90
	草莓、西瓜、杏、椰子	90~95
	葡萄、猕猴桃、柿子、梨、菠萝	80~85

## (二) 水的结构与物理特性

### 1. 水的结构特点

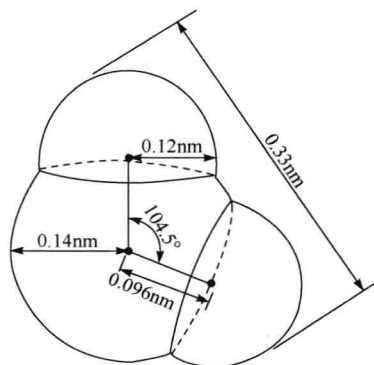


图 2-1 单个水分子的结构示意图  
(引自杜克生, 2002)

1) 水分子结构 水的分子式是  $H_2O$ , 其中氢原子的核外电子排布为  $1s^2$ , 氧原子的核外电子排布为  $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$ 。氧原子与氢原子成键时, 形成 4 个  $sp^3$  杂化轨道。2 个氢原子接近其中的 2 个  $sp^3$  成键轨道, 结合形成 2 个  $\sigma$  共价键(具有 40% 离子特性)。氧的另外 2 个轨道被氧原子最外层的 2 个孤对电子占据, 并对称地定向在原来轨道轴的周围, 形成了近似四面体的结构(图 2-1)。

2) 水分子间的缔合 水分子之间具有强烈的缔合作用。常温常压下的液态水中, 水分子缔合成水分子簇  $(H_2O)_n$ 。这是由于

于水分子中氧原子电负性大, O—H 键的共用电子对强烈地偏向氧原子一端, 使得氧原子端带负电, 氢原子端带正电, 形成偶极分子。偶极分子异电荷端之间产生静电引力, 形成氢键, 进而形成缔合结构。每个水分子最多能够与另外 4 个水分子通过三维氢键结合, 形成四面体结构